

В результате воздействия механической нагрузки на поверхность, образуются зоны пластической деформации, наблюдается ступенчатая деформационная структура (*рис. 2.*). В центре области индентирования создается максимальное деформирование, связанное с гетерогенной деформацией [2], проявляющейся в виде полос сдвига, расходящихся от отпечатка. Выявлено, что в процессе деформирования при всех нагрузках характерно формирование ступенек сдвига, которые соответствуют выходу на поверхность полос сдвига [2], деформационные полосы расходятся радиально. Установлено, что высота ступенек может достигать 80 нм.

Список публикаций:

- [1]. Глезер А.М., Молотилев Б.В. Структура и механические свойства аморфных сплавов. М.: Металлургия, 1992. 208с.  
[2]. Глезер А.М., Пермякова И.Е., Федоров В.А. Трещиностойкость и пластичность аморфных сплавов при микроиндентировании // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения* – 2005 – Т.2. №4 – С. 13–16.

## **Оптические и механические свойства углеродных гидрогенизированных пленок на германии синтезированных напрямую из ионных пучков**

**Семерикова Анна Ивановна**

*Новосибирский государственный университет*

*Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.*

*[tykva.anya@gmail.com](mailto:tykva.anya@gmail.com)*

Технология синтеза аморфных углеродных гидрогенизированных (а-С:H) пленок с контролируемыми свойствами постоянно развивается в связи с практическими применениями, например, в качестве просветляющих и защитных покрытий для оптики ИК диапазона [1]. Формирование связывающего слоя между подложкой и пленкой происходит в результате взаимодействия верхнего слоя подложки и осаждаемых атомов или молекул. Но в результате механических напряжений может произойти отслоение покрытия. Возможным решением является усиление связи между основой и осаждаемым материалом за счет имплантирования ионов углерода в материал подложки [2]. Использование ионного источника (ИИ) с азимутальным дрейфом электронов дает возможность получать пучки ионов со средней энергией от 0,5 до 5 кэВ. Высокоэнергетичные пучки способны обеспечить высокую адгезию, а низкоэнергетичные пучки – благоприятные условия для роста.

Пленки напылялись из источника с азимутальным дрейфом электронов. В область ионизации подавался пропан (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), расход – 1,4 – 4,2 млн/мин. Для очистки от адсорбированных атомов и молекул подложки обрабатывались ионами аргона с энергией 500 – 600 эВ в течение 5 мин. В режиме А пленки осаждались из ионных пучков с энергией 500-600 эВ. В режиме В адгезионный слой формировался ионами рабочего газа с энергией 3 кэВ. Затем осаждение продолжалось с энергией пучка 0,6 кэВ. В режиме С пленки напылялись из ионных пучков с энергией 3 кэВ. Для компенсации пространственного заряда ионного пучка в режимах В и С использовался вольфрамовый эмиттер электронов.

Твердость, толщина и адгезия покрытий определялись методом наноиндентирования и скрайбирования на сканирующем нанотвердомере «НаноСкан-3D». Адгезионную прочность пленок оценивали по критической нагрузке их отслоения от подложки при скрайбировании с переменной нагрузкой. Рамановские ИК-спектры получены на ИК Фурье спектрометре ФТ-801 в диапазоне 2,5 – 16,7 мкм для изучения просветляющих свойств покрытий.

При двухэтапном напылении в режиме В получены значения твердости, превышающие твердость подложки (10 ГПа): 19 ГПа при осаждении адгезионного подслоя в течение 35 мин и 14,5 ГПа при часовом осаждении подслоя. Отметим, что напыление при энергии ионного пучка 3 кэВ (режим С) обеспечивает хорошую адгезию и высокую скорость синтеза – 1,1 – 1,3 А/сек. Однако, твердость покрытия в этом случае не превышает твердости германия – 10 ГПа. Пленки с адгезионным слоем (режимы В и С) не отрывались при многократном скрайбировании алмазным индентором с максимальной нагрузкой 50 мН. При осаждении ионов рабочего газа с энергией 500-600 эВ на германий без адгезионного подслоя (режим А) твердость покрытия составляет от 13,5 до 16 ГПа. Однако адгезия таких пленок хуже: отрыв происходит уже при нагрузке 10 мН. Скорость роста покрытия – 0,3 А/сек.

На *рис. 1.* Представлены спектры пропускания а-С:H пленок на германии с эффектом просветления. Максимум просветления 65 – 67% наблюдается в диапазоне длин волн 4,5 – 6 мкм. При уменьшении и увеличении длины волны пропускание уменьшается, что может быть связано с изменением оптической толщины покрытия. Для сравнения на *рис. 1* представлен спектр пропускания чистого германия.

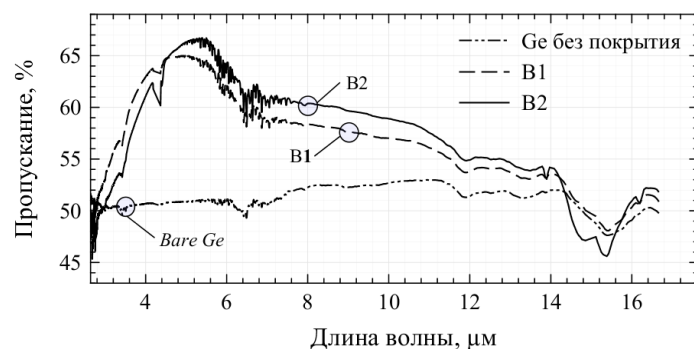


рис.1. Спектры пропускания а-С:Н пленок на Ge и чистой подложки в диапазоне 2,5 – 16,7 мкм. B1 – спектр образца твердостью 14,5 ГПа и толщиной 450 нм. B2 – спектр образца твердостью 19 ГПа и толщиной 600 нм. Обе пленки (B1 и B2) напылялись в режиме В и обладают хорошей адгезией.

Нами установлено, что формирование адгезионного подслоя ионным пучком из  $C_3H_8$  с относительно высокой энергией – 3 кэВ способствует увеличению адгезионной прочности напыляемого покрытия. Наилучшая твердость покрытия – 19 ГПа, достигнута при двухэтапном напылении в режиме В. Таким образом, адгезионный слой способствует повышению качества защитного покрытия. Пропускание германия с односторонним защитным просветляющим покрытием а-С:Н достигает 65-67 % в диапазоне длин волн 4,5 – 6 мкм.

Работа выполнена при поддержке Проекта НГУ: Стратегические академические единицы (САЕ) «Нелинейная фотоника и квантовые технологии 2016 – 2017».

Список публикаций:

- [1] S. Peng, H. Ming, Z. Feng, et al // Chin. Phys. B. 2015 Vol. 24. P. 067803.
- [2] K. Suschke, R. Hübner, P. P. Murmu, et al // Coat. 2015. Vol. 5. P. 326.

## Зависимость размеров наночастиц палладия от условий синтеза

**Скорынина Алина Александровна**

Исаева Ашура Нураслановна, Терещенко Андрей Александрович, Усольцев Олег Андреевич,  
Доронкина Станислава Валерьевна, Камышова Елизавета Геннадиевна

Южный федеральный университет

Бугаев Арам Лусегенович

[alinaskorynina@rambler.ru](mailto:alinaskorynina@rambler.ru)

Наночастицы палладия широко применяются в каталитических реакциях гидрирования ненасыщенных углеводородов. Для достижения наибольшей производительности катализаторов нужно учитывать многие параметры, влияющие на высокую проводимость каталитического слоя, стабильность и удельную активность катализатора. На последнее, в частности, наибольшее влияние оказывает размер наночастиц, а также их форма, поэтому наибольший практический интерес представляют размеры получаемых в результате синтеза наночастиц. Цель данного исследования заключается в определении зависимости размеров наночастиц палладия от условий синтеза. В частности, были использованы две методики синтеза: восстановление палладия тетрагидроборатом натрия  $NaBH_4$  и восстановление в парах гидразина  $N_2H_4 \cdot H_2O$ .

Синтез наночастиц палладия проводился на подложке, в качестве которой использовался пористый оксид кремния  $SiO_2$ , а в качестве прекурсора был взят дихлорид палладия  $PdCl_2$ , растворенный в соляной кислоте  $HCl$ . Полученный раствор был разделен на две части, после чего проводился независимый синтез по двум названным выше методикам.

Первая часть палладия была восстановлена тетрагидроборатом натрия. Для этого высушенную смесь соли палладия, смешанной с подложкой, растворили в 60 мл водного раствора этиленгликоля  $C_2H_4(OH)_2$  и поместили раствор в ультразвуковую ванну на 5 минут, в ходе чего он приобретал черный цвет. Затем раствор перенесли на магнитную мешалку, разогретую до 50 °С, и смешали с двукратным избытком одномолярного раствора тетрагидробората натрия  $NaBH_4$ ; восстановление длилось 40 минут при температуре 50 °С. Полученная смесь отстоялась, выпал осадок, который был отделен от жидкой фазы пипеткой Пастера.

Вторая часть палладия была восстановлена в парах гидразина. Для этого сухая смесь палладия на кремниевой подложке была приклеена на предметное стекло в одном случае с помощью этилового спирта